

## 【期市月月谈】光伏电池 P 转 N 技术路线下，多晶硅产品要求及价格表现

肖静 F3047773 Z0014087

张秀睿 F03099436

国投安信期货投资咨询部

### 一、光伏电池 P 转 N 技术路线

光伏产业，作为新能源领域的重要组成部分，近年来在我国取得了飞速的进步。得益于 2019 年光伏平价上网的实现，以及 2021 年国家政策补贴的取消，光伏产业链各环节的企业纷纷聚焦于电池效率的提升、成本的降低以及产品稳定性的增强等技术创新。

作为光伏产业链核心环节的电池片，其光电转换效率和发电性能对光伏发电项目的总体发电量和盈利能力产生直接影响。因此，提高电池转换效率对光伏行业具有重大意义。当前，电池片技术持续演进，可分为 P 型和 N 型两类，其主要差异体现在硅片衬底类型和电池制备技术两方面，而制备技术路线则决定了光伏产品的效率上限，具体来看：

#### 1. P 型电池片

采用硼元素掺杂的单晶硅制备的 P 型硅片衬底，主要应用于两类主流电池技术：BSF 和 PERC。在 2015 年之前，BSF 电池在市场上占据主导地位。然而，2016 年 PERC 技术的出现，有效改善了 BSF 电池背面光学与电学损失的问题，使电池的效率提升 0.5%-1%。这一改进仅在原有生产流程中增加 2-3 个步骤即可实现。因此，截至 2020 年，全市场 PERC 电池成为主流，市场份额超过 85%，并以双面电池片为主。

然而，鉴于 P 型单晶硅 PERC 电池的理论转换效率极限为 24.5%，当前量产效率约为 23.3%，且未能根本解决以 P 型硅片为基底的电池所出现的光衰现象（光的强度或功率随时间或距离的累积减少），PERC 单晶电池的效率提升空间有限，已无法满足市场需求。因此，N 型电池片应运而生。

#### 2. N 型电池片

采用磷元素掺杂的 N 型硅片作为原料。虽然相较于 P 型电池，N 型电池的制造工艺更为复杂且成本较高，但其转换效率更高、发电衰减率更低，随着科技不断进步和市场需求的变革，N 型电池已逐渐成为全球光伏产业关注的焦点，目前主要可分为 TOPCon、HJT 和 IBC 三种技术路线。

##### （1）TOPCon 电池

隧穿氧化层钝化接触（TOPCon）电池技术，通过采用背面超薄氧化层与掺杂多晶硅的复合结构，实现了电池性能的全面提升。该技术的理论极限效率可达 28.7%，研发水平已实现 26.7% 的效率，量产产品效率超过 25.1%。此外，该技术具备较高的产线改造性价比，能在最大限度地保留和利用传统 P 型电池生产设备的同时，实现高效电池的量产。

##### （2）HJT 电池

异质结（HJT）电池在光电转换效率方面表现优异，理论最高可达 28.5%，若与钙钛矿电池叠加使用，转换效率可进一步提升至 29%。目前，研发阶段的 HJT 电池效率为 26.81%，量产效率接近 25.5%，且其生产工艺相较其他 N 型电池更为简洁。然而，与 PERC 和 TOPCon 电池不同的是，HJT 电池可以采用更薄的硅片以节省硅料，但同时可能导致耗银量增加，生产过程中需使用低温固化型银浆。低温银浆存在多个技术难点，且需依赖进口，对外依存度较大，从而使得相对成本较高。

##### （3）IBC 电池

全背电极接触晶硅电池技术（IBC）将电池正面的电极栅线全部转移到电池背面，有效

降低正面栅线对阳光的遮挡，实现入射光的最大化利用，从而提高转换效率。在理论层面，其转换效率可达 29.1%；研发实测效率已超过 25.5%，量产效率也已超过 24.7%。IBC 电池具备外形美观、更适应家庭用电场景和分布式市场的特点。然而，其生产工艺复杂、制造难度较大、成本较高，短期内实现大规模量产仍面临一定挑战。

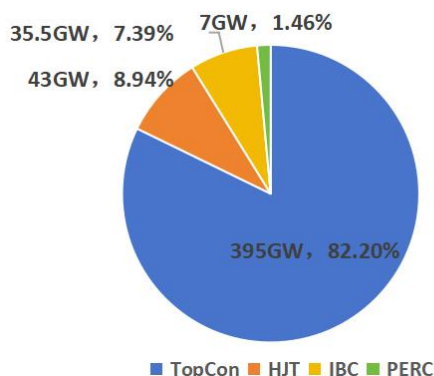
表：N、P 型电池技术路线及生产特点

分类	原料	掺杂元素	技术类型	理论效率/量产效率	主要特点
N型电池	N型硅片	磷	TOPCon	28.7%/25.1%	最大程度利用P型产线改造，市场渗透率高
			HJT	28.5%/25.5%	使用低温固化型银浆，成本较高
			IBC	29.1%/24.7%	正面无栅线遮挡，制备工艺复杂，成本高
P型电池	P型硅片	硼	PERC	24.5%/23.3%	工艺相对简单，成本较低，接近转化效率极限

数据来源：材料导报

在 N 型技术领域，得益于其高效且成本可控的特性，TOPCon 技术已吸引众多主流一体化企业、专业电池片制造商以及跨界企业纷纷加大产能布局。据 Infolink 数据显示，截至 2023 年，TOPCon 电池名义产能将达到 477GW。公开资料显示，实际落地产能约为 395GW，其合格率与 PERC 电池基本相当，HJT 电池投产落地产能 43GW，BC 电池落地产能 35.5GW，而 PERC 电池片扩产则不足 7GW。展望未来，光伏产业链 P 型技术向 N 型技术的升级趋势不可逆转，TOPCon、HJT 和 IBC 等技术路线有望依次逐步发展并实现过渡，2024 年 PERC 与 TOPCon 市占率将分别为 23%与 65%。

图：2023 年国内各类电池落地产能及其占比



数据来源：公开信息

## 二、N 型多晶硅要求及原料采购

受 N 型电池片需求驱动，多晶硅供应链正加快转型升级。截至 2024 年 1 月，部分多晶硅生产商的 N 型产品供应占比已接近 50%，头部供应商的占比更是高达 70%。

当前，我国市场对 N 型硅料尚无完整、统一的国家标准。然而，从市场需求观察，相较于 P 型多晶硅的太阳能级技术指标要求，N 型多晶硅的品质要求更为严格。在产品纯度、体表金属杂质含量等方面，N 型多晶硅的标准均有显著提升。此外，其不再局限于太阳能级，而是需达到国标电子级多晶硅指标三级及其以上标准。具体而言，基体金属杂质浓度

(Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na) 小于 2ppbw; 表面金属杂质浓度 (Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Al、K、Na) 小于 15ppbw。

图：电子级多晶硅等级指标

项目	电子级多晶硅等级指标		
	电子1级	电子2级	电子3级
基体金属杂质浓度 (ppbw) Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na	≤1.5	≤1.5	≤2
表面金属杂质浓度 (ppbw) Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Al、K、Na	≤10.5	≤10.5	≤15

图片来源：晶科能源报告

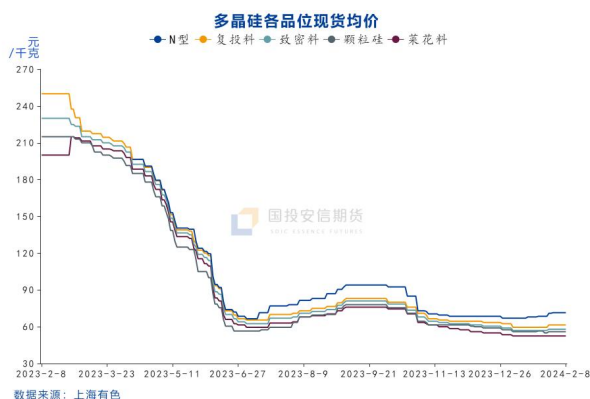
根据市场调研，现阶段多晶硅 P 型转向 N 型的产品分类已逐渐确立，但在工业硅粉采购方面，多晶硅制造商并无特殊要求，所需硅粉为 99 硅粉，磨粉过程中对工业硅牌号并无严格限制，多种工业硅规格混用的现象较为普遍。

工业硅上市后，期货仓单当前交割主要以 421 牌号为主。当盘面价格较低，期货仓单货源在价格上具有优势时，自备磨粉线的多晶硅厂倾向于接收 421 硅，并根据磨粉的杂质要求，按比例进行硅粉生产。

### 三、多晶硅产品结构性短缺行情

2023 年，硅料价格的持续下跌引起了广泛关注。自 3 月份起，硅料价格步入下行通道，5 月份跌幅远超市场预期。下半年，硅料价格跌破行业平均成本线，随后价格逐步小幅回升。在此背景下，部分新进企业遭受亏损，甚至被迫停产。然而，头部企业持续扩大产能，以争夺市场份额，并加速从生产 P 型硅料向 N 型硅料转型，以应对市场变化并扩大差距。

图：多晶硅各品位价格走势



数据来源：SMM

随着春节的临近，下游硅片备货需求强劲，市场询单量攀升，多晶硅价格签约单价呈现连续上涨态势。自 2024 年以来，N 型价格连续三周上涨，达到 72 元/千克，涨幅为 7.46%。相较之下，P 型价格反弹力度较小，N-P 价差进一步扩大。这主要源于下游 N 型硅片产出比例持续提高，市场对 N 型优质硅料的需求不断增长。尽管头部多晶硅厂对 N 型供应的响应迅速，但产能释放仍未能达到预期。多晶硅厂通过将 P 型打包出售虽能短期内稳定价格，但 P 型退出历史舞台仍是大势所趋。

鉴于新增装机增速放缓以及光伏产业链中下游产能过剩的现状，我们认为多晶硅价格尚未触底，且存在接近成本的预期。市场技术革命的实现并非一蹴而就，过去因资金热捧导致产能过剩的多晶硅行业在迎来新一轮产能淘汰和出清过程中，可更多关注多晶硅产品间的结构性短缺可能带来的行情机会。

参考文献：

[1]郭远帆,高鹏,郭永刚等.不同 n 型电池组件发电能力对比研究[J].材料导报,2023,37(S2):27-30.

[2]陈晓达,庄天奇,李小姐等.n 型 TOPCon 光伏电池标准化研究[J].信息技术与标准化,2023,(04):46-54.

**本文仅用于国投安信期货公司客户的交流与查阅，不尽之处，敬请批评指正！**

## 免责声明

国投安信期货有限公司是经中国证监会批准设立的期货经营机构，已具备期货投资咨询业务资格。

本报告仅供国投安信期货有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。

本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。如接收人并非国投安信期货客户，请及时退回并删除。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及推测只提供给客户作参考之用。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的期货或期权的价格、价值可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。客户不应视本报告为其做出投资决策的唯一因素。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所导致的任何损失负任何责任。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，本公司不对其内容的真实性、合法性、完整性和准确性负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。